



Informations et ressources scientifiques sur le développement des zones arides et semi-arides



• [A propos de ce site](#) • [Lettre électronique](#) • [Contacts](#) • [Plan du site](#) • [Recherche](#)



• [Actualités](#) • [Revue électronique](#) • [Organismes de recherche](#) • [Périodiques](#) • [Thèses](#) • [Sites utiles](#) • [Bibliographies](#)

► [Revue électronique](#) ► [Sécheresse, volume 1E, numéro 1 \(avril 2003\)](#)

Suivi de la végétation en zone sèche par des produits d'information dérivés de l'imagerie spatiale

Monitoring of dry land area vegetation using products derived from satellite images

Christian Crépeau, Taoufiq Bennouna, Patrice Bicheron, Pascale Cayrol, Yann Legros

Services et conception de systèmes en observation de la terre (SCOT), 12 rue Hermès, 31526 Ramonville Cedex, France. Tél : 33 5 61 39 46 00 - Télécopie : 33 61 39 46 10

Site Web : www.scot.fr

Nicolas Ganzin

Groupeement pour le développement de la télédétection aérospatiale (GDTA), 8 rue Hermès, 31526 Ramonville Cedex, France. Tél : 33 5 61 39 49 00 - Télécopie : 33 5 61 39 49 59

Site Web : www.gdta.fr

Souleymane Diop, Alioune Ka, Alioune Diouf

Centre de suivi écologique (CSE), BP 15532, Fann résidence, Dakar, Sénégal. Tél : 221 8 25 82 66 - Télécopie : 221 8 25 81 68

Site Web : www.cse.sn

Abdallah Samba, Djabi Bakari

AGHYMET, BP 11011 Niamey, Niger. Tél : 227 73 31 16 - Télécopie : 227 73 24 35

Site Web : www.agrhymet.ne

Résumé

Les images satellitaires à basse résolution permettent d'effectuer un suivi régulier à très faible coût des ressources renouvelables. La perte de précision due à la faible résolution spatiale est compensée par un large champ d'observation (de l'ordre du pays entier) et par une excellente résolution temporelle. Une répétitivité journalière est en effet essentielle pour un suivi régulier des ressources, principalement végétales. Les nouveaux produits proposés développés à partir de données de l'observation de la terre permettent non seulement de suivre et de surveiller (approche qualitative) mais d'évaluer et de prévoir (approche quantitative) les changements de l'écosystème dans le cadre des problématiques de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la désertification. Afin de rendre ces produits fiables et précis, les données spatiales utilisées (en particulier Spot 4-VEGETATION) ont été corrigées des effets radiométriques, géométriques et atmosphériques avec des algorithmes de dernière génération. L'aspect novateur de ces produits tient à l'utilisation de nouveaux modèles, en particulier pour l'estimation de la production de biomasse et du cycle phénologie du couvert végétal. De plus, pour mieux valoriser, exploiter et interpréter ces produits issus de l'observation de la terre, des cartes ont été élaborées à partir de données thématiques annexes en suivant des règles strictes de sémiologie cartographique. Ces nouveaux développements de produits issus de l'observation de la terre ont reçu le concours des centres de compétence d'Afrique de l'Ouest et convergent avec les stratégies déployées respectivement par l'OSS et par le Cnes.

Mots-clés : télédétection, imagerie satellitaire, végétation, cartographie

Summary

Low-resolution satellite images provide a cost-effective and regular monitoring of renewable resources. The loss of precision due to the weak space resolution is counterbalanced by a broad observation range capacity (in the order of the whole country) and by an excellent revisit capacity. Daily repetitiveness is indeed essential for the regular monitoring of resources, mainly vegetation. Developed on the basis of earth observation data, the new products offered allow changes in the ecosystem not only to be monitored and watched (qualitative approach) but also to be assessed and forecast (quantitative approach) in the face of such issues as food security and the fight against desertification. In order to offer reliable and precise products, the space data collected (particularly Spot4 - Vegetation) were corrected radiometrically, geometrically and atmospherically using last-generation algorithms. The innovative side of these products is the result of the use of new models, especially for the estimation of biomass production and of the vegetation canopy phenology cycle. Furthermore, to better value, use and interpret these products, maps following strict cartographic semiology rules have been developed based on additional thematic data. This new development of products resulting from earth observation data was supported by West African competence centres under the strategies set up by both the OSS and the CNES.

Contexte technique et institutionnel des travaux présentés

Les nouveaux produits présentés ci-après sont, pour la plupart, des cartes d'aide à la décision fondées sur les indices de végétation et leurs dérivés. Ces cartes sont à l'état de prototypes en cours de validation. Elles ont été élaborées sous la maîtrise d'œuvre de SCOT au cours de plusieurs projets récents financés par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) à travers son programme « Images » et par le Centre national d'études spatiales (Cnes) (programmes « PAD-VEGETATION » et « Grand Champ »). Ces travaux ont reçu le concours des centres de compétence d'Afrique de l'Ouest : Centre de suivi écologique (CSE) de Dakar et Centre Aghrymet de Niamey.

Ces produits convergent avec les stratégies déployées respectivement par l'OSS (diffusion des nouvelles technologies de l'information et de la communication et harmonisation des méthodes de traitement d'images et de production d'information au sein de la zone OSS) [1] et par le Cnes (promotion de l'instrument SPOT 4-5/ VEGETATION).

Ils ont en commun :

- de tenter d'améliorer la réponse donnée aux besoins en information sur l'état de la végétation dans les zones sèches et sur son évolution à court, moyen et long termes, dans le cadre des problématiques de la sécurité alimentaire, d'une part, et de la lutte contre la désertification, d'autre part. Ils peuvent, à ce titre, alimenter des indicateurs de changement ou d'alerte ;
- d'utiliser les informations radiométriques fournies par les satellites d'observation de la terre à basse résolution (de type NOAA/AVHRR ([2]) ou SPOT 4-5/VEGETATION ([3])), contenues sur des images acquises sur un rythme quasi quotidien, couvrant de vastes superficies avec une résolution voisine du kilomètre, et pour un coût véritablement modique ;
- d'appliquer à ces images des pré-traitements et des traitements de dernière génération afin de corriger au maximum les défauts atmosphériques, radiométriques, et géométriques qui limitent ordinairement et depuis longtemps la confiance que les usagers accordent aux produits issus de ces images.

L'aspect novateur de ces produits ne tient pas seulement aux méthodes de pré-traitement et de traitement appliquées, ou aux sources nouvelles de données utilisées (SPOT 4/VEGETATION). Il tient également à l'utilisation de nouveaux modèles ou algorithmes (pour l'évaluation de la production de biomasse et la phénologie) et à la recherche d'une lisibilité maximale pour les cartes élaborées passant par un strict respect des règles de la sémiologie cartographique. Il tient, enfin, à l'utilisation de données thématiques annexes renseignant sur la nature des milieux géographiques et facilitant l'interprétation des produits dérivés des images.

Ces différents produits sont proposés dans trois gammes d'échelles majeures, correspondant aux trois grands niveaux territoriaux d'étude et d'intervention utilisés par les décideurs, d'une part, et par les chercheurs, d'autre part :

- échelle régionale (1/5 000 000 à 1/10 000 000), correspondant aux décisions de nature stratégiques à prendre par les décideurs régionaux (essentiellement organismes type CILSS (Comité permanent inter-états de lutte contre la sécheresse), IGAD (*Intergovernmental Authority on Development*), UMA (Union du Maghreb arabe), grandes agences bilatérale et multilatérale de coopération, grandes ONG) ;
- échelle nationale (1/1 000 000 à 1/2 000 000), correspondant aux décisions de nature tactique à prendre par les décideurs nationaux (ministères de l'Agriculture et de l'Élevage, agences de coopération, agences des Nations Unies, ONG) ;
- échelle locale (1/500 000), correspondant aux décisions de nature logistique à prendre par les utilisateurs opérant à l'échelle provinciale (subdivisions territoriales des ministères de l'Agriculture et de l'Élevage, collectivités locales, missions locales des ONG, etc.).

Exemples de nouveaux produits

Produits cartographiques illustrant une variable qualitative

Cartes thématiques contextuelles

Les cartes thématiques contextuelles (*figure 1*) ont pour vocation de réunir sur un même support des données cartographiques annexes décrivant les milieux concernés par les cartes dérivées des images basse résolution présentées ci-après, en termes de climat, de densité de population, d'occupation du sol, de nature du sol, de zones de cultures, etc. Ces données, qui proviennent de bases de données différentes sont mises dans une projection et une échelle identiques à celles qui sont utilisées par l'analyse différentielle et l'analyse chronologique.

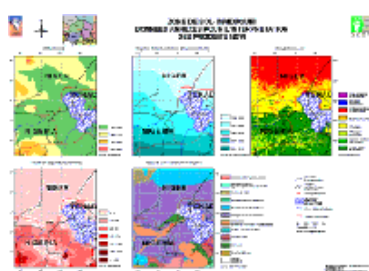


Figure 1

Affichage plein écran (127 ko)

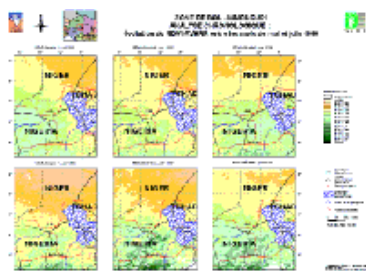


Figure 2

Affichage plein écran (148 ko)

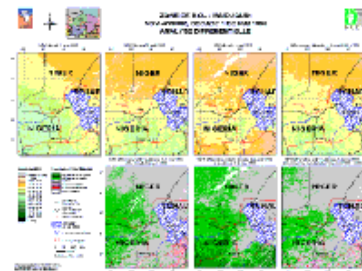


Figure 3

Affichage plein écran (180 ko)

Cartes d'indices NDVI optimisés

Les cartes présentées ci-après sont issues des données NOAA/AVHRR. Le caractère innovant ne tient pas à l'utilisation de l'indice de végétation NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* [1]) qui est une combinaison de canaux spectraux dans le rouge (R) et proche infrarouge (PIR), $(PIR-R)/(PIR+R)$, et qui est utilisé depuis plus de 20 ans avec les images AVHRR, mais à la qualité des pré-traitements et au respect d'un protocole cartographique rigoureux tant au niveau de la table des couleurs que de la mise en page.

Cartes d'analyse chronologique

Les cartes d'analyse chronologique (*figure 2*) sont destinées à l'examen visuel, décade après décade, des indices de végétation NDVI et à la compréhension du déroulement de la saison agricole.

Cartes d'analyse différentielle

Les cartes d'analyse différentielle (*figure 3*), qui reposent sur l'indice de végétation NDVI, permettent de comparer la vigueur de la végétation d'une décennie donnée avec la vigueur observée la décennie précédente, ou avec la vigueur enregistrée pour la même décennie de l'année précédente, ou avec la vigueur moyenne de cette même décennie analysée sur plusieurs années. Elles autorisent par conséquent la caractérisation de l'état de la végétation (croissance/déclin, avancée/recul) à un moment t , puis, le cas échéant, le diagnostic des conséquences en terme de sécurité alimentaire et des changements à court, moyen et long termes affectant la végétation.

Cartes phénologiques

Ces cartes sont issues des données SPOT 4/VEGETATION. Elles regroupent trois types de produits : un produit « dates de démarrage de la végétation » qui permet d'identifier depuis le début de la saison de végétation les dates de démarrage et les zones concernées ; un produit « dates de maximum » qui est très utile pour la gestion de la transhumance ; un produit « dates de sénescence » qui permet une évaluation indirecte des disponibilités fourragères. Nous présentons ici le produit « dates de démarrage de la végétation ».

Ce produit est réalisé au moyen de l'algorithme de Moulin *et al.* [2]. La détermination de la date de démarrage repose sur la minimisation d'un critère b_i calculé pour chaque semaine. Ce critère (b_i) utilisé pour déterminer le début du cycle (b_date) est établi sur la base des considérations suivantes :

- la valeur du NDVI est proche de celle d'un sol nu ;
- la dérivée temporelle à gauche de b_date doit être proche de 0, le NDVI étant presque constant ;
- la dérivée temporelle à droite de b_date doit être positive car le signal croît lorsque la végétation apparaît. Afin de lisser davantage, les dérivées à droite et gauche sont calculées avec un pas de 2 semaines, soit x_{i+2} , x_{i-2} , et non x_{i+1} , x_{i-1} , tel que :

$$b_i = |x_i - x_0| - \lambda [(x_{i+2} - x_i) - |x_{i-2} - x_i|]$$

où :

b_i est le critère b_date pour la semaine i ;

x_i la valeur radiométrique du signal pour la date i ;

x_0 et λ sont des paramètres empiriques.

Moulin *et al.* [2] prennent un λ égal à 3. Cette équation inclut un terme expliquant le niveau moyen du signal et un terme expliquant la forme du signal. Le seuil x_0 est utilisé comme terme moyen dans l'équation alors que le coefficient de pente λ est utilisé dans le terme dérivatif. Pour les pixels couverts de végétation une partie de l'année, la valeur x_0 correspond au NDVI sol nu. Pour les pixels couverts toute l'année par la végétation, la valeur x_0 correspond au minimum de l'activité végétale. Dans les deux cas, x_0 est déterminé en considérant le minimum de NDVI sur la période étudiée.

Nous avons appliqué la méthode décrite ci-dessus pour élaborer les cartes d'émergence de la végétation pour les années 2000 et 2001. Ces cartes sont présentées ci-après, d'abord sur la totalité de la zone d'étude (*figure 4* et *figure 5*), puis au niveau du Sénégal (*figure 6*).

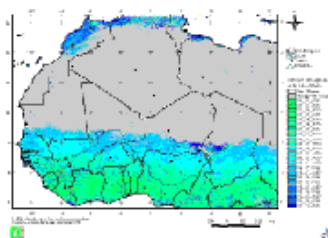


Figure 4

Affichage plein écran (103 ko)

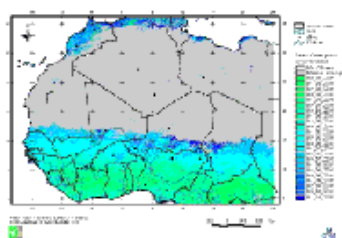


Figure 5

Affichage plein écran (106 ko)

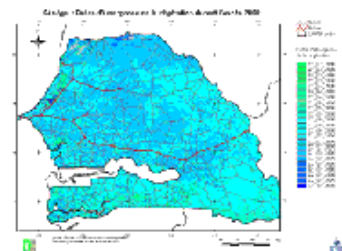


Figure 6

Affichage plein écran (131 ko)

L'analyse du produit « dates de démarrage » au niveau de l'Afrique de l'Ouest (*figure 4* et *figure 5*) montre un gradient latitudinal entre les zones sahéliennes et la frange équatoriale avec des démarrages du cycle végétal plus tardif au nord du Sahel (à partir de juillet), et beaucoup plus précoce au sud de la zone (à partir de février). Pour le Maghreb, les dates de démarrage sont beaucoup plus tardives (à partir d'octobre). Au niveau de la frange équatoriale où la végétation semble démarrer au mois de février, certains pixels indiquent une émergence aux mois de septembre-octobre créant ainsi un « effet de taches isolées ». Cet effet se localise principalement au niveau des zones à végétation chlorophyllienne permanente, au niveau desquelles la définition d'une date de démarrage n'est pas évidente.

L'analyse de ces produits à l'échelle du Sénégal (*figure 6*) montre le même gradient que celui qui est identifié au niveau de l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest. La végétation démarre en effet de manière plus précoce au sud (avril-mai) et plus tardive au nord (juillet). Certaines zones du centre-nord du pays montrent des dates de démarrage encore plus tardives. L'étude des données de terrain fournies par nos partenaires nous permettra d'avancer plus avant dans cette analyse.

Produits cartographiques illustrant une variable quantitative (production de biomasse)

Ces produits permettent d'affiner les stratégies en matière de gestion de l'élevage et de sécurité alimentaire. Les cartes présentées ci-après sont issues des données SPOT 4/VEGETATION.

Carte d'estimation de la production de biomasse

Différents modèles de production de biomasse sont utilisables. Les modèles empiriques cherchent généralement à établir une corrélation entre la production de biomasse mesurée sur le terrain, diverses variables climatiques [4], et des données issues de la

télédétection [5]. Ces derniers ont montré que l'utilisation combinée de la télédétection et des données de terrain dans certains pays du Sahel, permettait l'évaluation à grande échelle de la productivité des parcours. Malgré leur simplicité de mise en œuvre, ces relations empiriques sont relativement imprécises.

À l'opposé, les modèles déterministes, beaucoup plus précis, ont le défaut de nécessiter tant de données que leur utilisation reste cantonnée aux parcelles expérimentales.

Une solution intermédiaire est l'utilisation de modèles semi-déterministes, qui tendent à simplifier les modèles déterministes pour pouvoir les exploiter à grande échelle. Le modèle semi-déterministe le plus utilisé repose sur le formalisme de Monteith [3] qui calcule la production primaire nette comme le produit du rayonnement photo-synthétiquement actif absorbé par le couvert et l'efficacité avec laquelle les plantes transforment cette énergie en biomasse sèche. Mais cette efficacité est le produit de sept efficacités, qui sont, pour certaines, difficilement quantifiables. De nombreuses études par la suite ont pris pour base les capacités des indices de végétation à estimer la production de biomasse et le rendement, afin de simplifier la relation de Monteith. En particulier, Tucker *et al.* [6, 7] furent les premiers à examiner les relations entre le NDVI et les paramètres biophysiques de couverts végétaux tels que la biomasse. Puis, d'après des études expérimentales et théoriques, Kumar et Monteith [8] puis Tucker et Sellers [9] ont montré qu'il existait une relation linéaire entre le cumul saisonnier du NDVI et l'efficacité d'interception, ε_a , du rayonnement photo-synthétiquement actif. Le modèle de Monteith est devenu le modèle de Monteith simplifié utilisant seulement trois efficacités de formulation :

$$MST = \int_t \varepsilon_a \varepsilon_b \varepsilon_c R_G dt$$

reliant, respectivement, la matière sèche totale MST , ε_a l'efficacité de conversion, ε_b l'efficacité d'absorption (noté aussi fAPAR), ε_c l'efficacité climatique, R_G le rayonnement solaire global incident et Δt le pas de temps de la sommation. En faisant les hypothèses d'une efficacité climatique constante sur une région donnée, de l'efficacité de conversion pour une espèce donnée constante pendant la période végétative, le fAPAR se déduit de la différence entre NDVI et NDVI du sol nu, la formulation précédente devenant alors :

$$\text{Production de biomasse d'une période} = a \varepsilon_c \varepsilon_b \sum (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{solnu}}) R_G \Delta t$$

Le NDVI du sol nu, le coefficient a , et les dates correspondant à la période végétative peuvent se déduire de l'analyse des profils de NDVI. L'analyse des profils de NDVI, couplée à des données météorologiques (rayonnement global incident, efficacité climatique) et agronomiques (efficacité photo-chimique) permet ainsi d'estimer la production de biomasse (*figure 7*).

Un gradient régulier de production de biomasse est directement mis en évidence par la *figure 7* relative au Niger en 2001. En effet, la distribution des valeurs les plus faibles (0 à 1 500 kg MS.ha⁻¹) suit un gradient du nord au centre (jusqu'à la zone pastorale), alors que celle des valeurs les plus fortes (1 500 à 5 000 kg MS.ha⁻¹) suit un gradient du centre au sud (zone de production agricole pluviale).

Carte de la productivité des parcours par unité de vulnérabilité

Ce produit quantitatif (voir la *figure 8* relative au Sénégal en 1999), est un dérivé des indices de végétation NDVI issus des images SPOT 4/VEGETATION, élaboré à l'aide du modèle de Monteith. Dans la carte présentée, l'estimation de la production de biomasse a été ramenée à une valeur moyenne par unité géographique (il s'agit d'unités de vulnérabilité structurelle résultant d'un croisement sous Système d'information géographique (SIG) entre trois cartes : précipitations, densité de cheptel et occupation du sol). Ce produit, où le pixel a disparu, peut être aisément transmis par fax, y compris en noir et blanc.

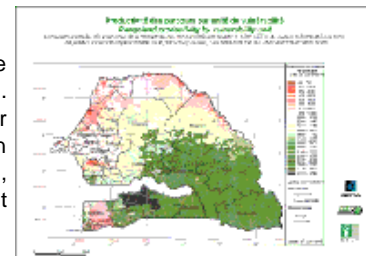


Figure 8
Affichage plein écran (114 ko)

Conclusion

Les produits présentés dans cette étude sont des cartes d'aide à la décision basées sur des indices de végétation issues de l'observation de la Terre et leurs dérivés. Ces produits sont à l'état de prototypes en cours de validation. Les premiers résultats montrent une nette amélioration des produits tant au niveau de la forme de la présentation que du contenu. Cette amélioration des produits est due non seulement aux méthodes de prétraitement appliquées aux données spatiales issues du nouveau capteur VEGETATION mais surtout au développement de modèles permettant de déterminer la date de démarrage de la croissance de la végétation et d'estimer la production de biomasse. La présentation des cartes suit les règles de la sémiologie cartographique en utilisant aussi des données annexes renseignant sur la nature des milieux géographiques permettant ainsi une meilleure description et interprétation des produits dérivés de l'Observation de la Terre.

Remerciements

La mise en œuvre de ces produits a été rendue possible grâce au support du programme Images financé par l'Observatoire du Sahara et du Sahel et du programme PAD-VEGETATION financé par le Cnes. Les développements des produits de type « Estimation de biomasse et phénologie ont été financés par Adema (projet « Grand Champ ») du Cnes.

Références

1. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens Environ* 1979 ; 8 : 127-50.
2. Moulin S, Kergoat L, Viovy N, Dedieu G. Global scale assesment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements. *J of Climate* 1997 ; 10 : 1154-70.
3. Monteith J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J Applied Ecol* 1972 ; 9 :747-66.
4. Hiernaux P. Distribution des pluies et production herbacée au Sahel : une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. premiers résultats acquis dans le Sahel malien. Doc. Prog. N° AZ 926. Bamako : CIPEA/ILCA, 1983 ; 46 p.

5. Justice CO, Hiernaux P. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA-AVHRR data. *Int J Rem Sens* 1986 ; 7 : 1475-99.

6. Tucker CJ, Holben BN, Elgin JH, McMurtry JE. Remote sensing of total dry mater accumulation in winter wheat. *Remote Sens Environ* 1981 ; 11 : 171-90.

7. Tucker CJ, Townshend JRG, Goff TE. African land cover classification using satellite data. *Science* 1985 ; 227 : 369-74.

8. Kumar M, Monteith JL. Remote sensing of plant growth. In : *Plants and the daylight spectrum*, Smith H., ed. London : Academic Press, 1982 : 133-44.

9. Tucker CJ, Sellers PJ. Satellite remote sensing of primary production. *Int J Rem Sens* 1986 ; 7 : 1395-417.

[1] De nombreuses équipes, africaines et non-africaines, produisent des cartes d'aide à la décision en matière d'alerte précoce et de suivi de l'environnement utilisant des données satellitaires basse résolution. Une amélioration et une homogénéisation de ces produits sont apparues nécessaires aux opérateurs africains et à l'OSS.

[2] Ces données sont acquises par plusieurs stations locales de réception (Sénégal, Niger, Kenya, Tunisie, Maroc, Iles Canaries, etc.) et peuvent également être téléchargées depuis le site de la NOAA : <http://www.saa.noaa.gov/>

[3] Ces données sont disponibles sur le catalogue <http://cat.vgt.vito.be>

Page mise à jour le 11 octobre 2006